

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20171208001

http://www.yykxjz.cn/

贡艺, 李云凯, 陈玲, 高小迪, 陈新军. 东太平洋不同海区茎柔鱼肌肉脂肪酸组成分析与比较. 渔业科学进展, 2018, 39(6): 147-154

Gong Y, Li YK, Chen L, Gao XD, Chen XJ. A comparative analysis of fatty acid profiles in muscle of *Dosidicus gigas* from different harvest locations in the eastern Pacific Ocean. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(6): 147-154

东太平洋不同海区茎柔鱼肌肉脂肪酸 组成分析与比较*

贡 艺¹ 李云凯^{1,2,3,4,5①} 陈 玲⁶ 高小迪¹ 陈新军^{1,3,4,5}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071; 3. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室 上海 201306; 4. 国家远洋渔业工程技术研究中心 上海 201306; 5. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室 上海 201306; 6. 上海海洋大学海洋生态与环境学院 上海 201306)

摘要 茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)是一种广泛分布在东太平洋的大洋性头足类,具有重要的经济价值。本研究以捕获自 3 个作业海区的茎柔鱼为研究对象,对其肌肉脂肪酸含量进行测定、分析和比较。结果显示,各海区茎柔鱼肌肉脂肪酸种类和组成存在显著差异。秘鲁外海样品所含脂肪酸种类最多(共 28 种),中东太平洋赤道海域样品含有脂肪酸 27 种,而智利外海样品所含脂肪酸种类最少,只检测出 24 种。脂肪酸均以多不饱和脂肪酸为主(59.68%~69.28%),其次是饱和脂肪酸(20.71%~27.28%)和单不饱和脂肪酸(10.01%~13.04%)。各海区茎柔鱼肌肉中 C16:0、C18:0、C20:1n9、C18:2n6、EPA 和 DHA 含量较高,均占脂肪酸总含量的 81%以上。脂肪酸组成的空间异质性主要是由各海区 C16:0、C18:2n6、C20:4n6 和 DHA 的含量不同造成的,这种差异可能与各海区海洋环境、食物来源和个体能量需求的差别有关。本研究说明了脂肪酸分析在茎柔鱼食性研究中的潜在作用,对分析不同海区茎柔鱼营养成分和资源合理利用有一定的应用价值。

关键词 茎柔鱼; 肌肉; 脂肪酸; 比较分析

中图分类号 S917 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)06-0147-08

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)是重要的大洋经济性头足类,广泛分布于东太平洋,资源量丰富(陈新军等, 2012a)。据 FAO (2016)统计,茎柔鱼年产量已达到经济性头足类总产量的 24%,超过 100 万 t,其作业海区包括加利福尼亚湾、哥斯达黎加外海以及秘鲁与智

利的沿岸和外海。除这些传统的渔场,自 2012 年开始,中东太平洋赤道海域被开发为新的茎柔鱼渔场(陈新军等, 2012b)。茎柔鱼肉质鲜美、营养丰富,可被制作成鱼类饵料和鱼粉等产品,随着食品加工技术的发展,其胴体和腕足被加工为多种即食休闲食品

* 国家自然科学基金(41541042)、上海市自然科学基金(17ZR1413000)、上海高校水产学一流学科建设项目和青岛海洋科学与技术国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室开放基金(2017-1A03)共同资助 [This work was supported by National Natural Science Foundation of China (41541042), Natural Science Foundation of Shanghai (17ZR1413000), Shanghai Leading Academic Discipline Project (Fisheries Discipline), and Open Fund of Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao) (2017-1A03)]. 贡 艺, E-mail: simongy@163.com

① 通讯作者: 李云凯, 副教授, E-mail: ykli@shou.edu.cn

收稿日期: 2017-12-08, 收修改稿日期: 2017-12-25

(Uriarte-Montoya *et al.*, 2010; Arias-MoscOSO *et al.*, 2011; 杨实等, 2013)。但是, 茎柔鱼产量易受到海洋环境变化的影响, 而不同海域受影响的程度不同, 这使得各海区茎柔鱼产品价格存在波动(Markaida, 2006; Medellín-Ortiz *et al.*, 2016)。随着南太平洋区域性渔业管理组织(SPRFMO)成立, 茎柔鱼被纳入监管范围。这迫切需要我国全面了解各海区茎柔鱼的特点, 从而对其资源合理利用, 在国际谈判管理中掌握话语权。

脂肪酸是海产品的主要营养成分之一, 因其具有调节免疫力和降低心血管疾病风险等作用而受到人们的重视(Simopoulos, 2006; 李忠清等, 2016; 柳学周等, 2017)。同时, 脂肪酸作为茎柔鱼生命活动主要的能量来源之一, 与其生命过程中的生理机能具有密切的关系(Phillips *et al.*, 2001; Pethybridge *et al.*, 2013)。海洋生物脂肪酸组成会受到多种因素的影响, 其中, 摄食活动和栖息地的环境条件被认为是影响其组成的最主要因素(Iverson *et al.*, 2004; 许强等, 2011)。这使得脂肪酸成为一种具有示踪海洋生物间营养关系和溯源海产品的生物标志物。目前, 国内对茎柔鱼脂肪酸的研究主要集中在对秘鲁外海茎柔鱼肌肉和腕足的营养成分分析(杨实等, 2013)和食品加工领域(王丽丽等, 2014), 国外仅 Saito 等(2014)对秘鲁沿海茎柔鱼不同组织和胃含物的脂肪酸组成进行了研究, 未见针对不同海区茎柔鱼脂肪酸组成进行详细分析报道。因此, 本研究以在中东太平洋赤道海域、秘鲁外海和智利外海捕获的茎柔鱼为研究对象, 对其肌肉脂肪酸组成进行测定和比较。分析各海区茎柔鱼所含脂肪酸种类和组成的潜在差异, 并分析可能造成空间差异的主要脂肪酸种类和原因。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验样品由鱿钓船在中东太平洋赤道海域(CEP)、秘鲁外海(PER)和智利外海(CHI)3个茎柔鱼生产海区采集(图1), 样品经冷冻保存运回实验室, 于 -20°C 冰箱冷冻保藏(Phillips *et al.*, 2002)。为了解不同海区茎柔鱼脂肪酸组成差异, 本研究仅选取个体大小相近的样品进行研究。共采集了44尾样品, 样品的具体情况见表1。实验室解冻后, 测定其胴长, 精确至0.1 cm。取茎柔鱼胴体漏斗锁软骨处的肌肉 $2\text{ cm}\times 2\text{ cm}$, 去除表皮, 使用超纯水漂洗后放入冷冻干燥机(Christ Alpha 1-4) -55°C 干燥24 h, 干燥后, 用冷冻混合球磨机(Mixer mill MM440)磨碎成粉末(直径 $5\text{ }\mu\text{m}$)。

1.2 脂肪酸分析测定

1.2.1 样品处理 称取样品粉末 200 mg 加入 15 ml 三氯甲烷-甲醇溶液(2:1, v/v), 浸泡 24 h。离心后取上清液, 加入 0.9%的氯化钠溶液洗涤, 静置至溶液明显分层。取三氯甲烷层于圆底烧瓶中, 用氮气吹干后, 重量法测定干样中总脂肪含量。加入 4 ml 氢氧化钠-甲醇溶液(0.5 mol/L), 混合后连接水浴回流装置, 60°C 水浴加热 30 min。之后, 加入 4 ml 三氯化硼-甲醇溶液(14%, w/v), 水浴加热 30 min。冷却至室温, 加入 4 ml 正己烷, 震荡 2 min。再加入 10 ml 氯化钠溶液, 静置分层。正己烷层移入配有聚四氟乙烯瓶盖的厚壁玻璃管。

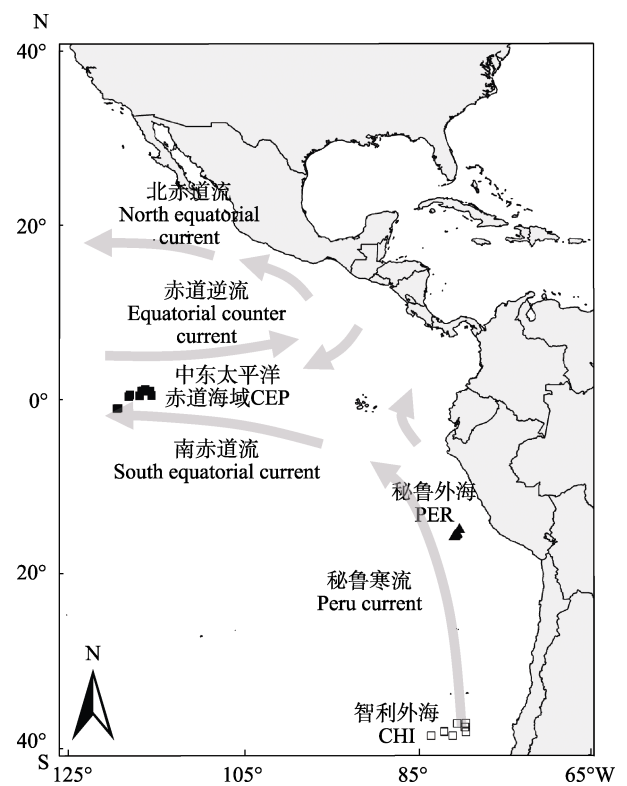


图1 茎柔鱼采样点和主要表层海流(Anderson *et al.*, 2001)
Fig.1 Sampling locations of *Dosidicus gigas* and major surface currents

1.2.2 脂肪酸分析 脂肪酸采用气相色谱/质谱联用仪(7890B/5977A, Agilent)进行分析。色谱条件: 毛细管柱型号为 Agilent HP-88($60\text{ m}\times 0.25\text{ mm}\times 0.20\text{ }\mu\text{m}$), 载气为高纯氦气, 分流比为 10:1, 进样口温度为 250°C 。升温程序: 初始温度为 125°C , 以 $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 145°C 并保持 26 min, 然后以 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 220°C 并保持 1 min, 最后以 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 227°C 并保持 1 min。

表 1 茎柔鱼采样点、基础生物学参数和脂肪含量
Tab.1 Sampling locations, biological parameters, and total lipids of *D. gigas*

项目 Items	中东太平洋赤道海域 Equatorial central eastern Pacific	秘鲁外海 Off Peru	智利外海 Off Chile
样本量 Sample size	16	13	15
采样时间 Sampling date	2013-04~2013-06	2015-09	2015-11
采样范围 Coordinates	115°45'W~119°00'W 1°11'N~1°00'S	79°45'W~80°21'W 14°53'S~15°22'S	79°00'W~83°00'W 37°06'S~38°30'S
胴长 Mantle length (cm)	30.3±3.6 (22.6, 42.6)	33.9±9.9 (23.8, 49.0)	35.5±3.3 (29.2, 45.0)
脂肪含量(干重) Total lipids (dry weight, %)	6.2±1.2 (3.7, 8.1)	5.9±1.6 (3.3, 7.9)	4.6±1.8 (2.7, 7.8)

注: 数值以均值±标准差(最小值, 最大值)表示

Note: Values were represented as Mean±SD (minimum, maximum)

1.3 数据统计

脂肪酸组成采用内标法(GLC 37, Nu-Chek Prep Inc, Elysian)进行定量分析。每种脂肪酸以占各脂肪酸总含量的百分比表示。使用 SPSS19.0 和 Past3 软件对数据进行统计分析。利用主成分分析检验不同海区茎柔鱼肌肉脂肪酸组成的空间差异。采用 Bray-Curtis 相似性系数, 以相似性分析(ANOSIM)对比海区间空间差异的大小, 并通过分析相似性百分比(SIMPER)检验造成茎柔鱼肌肉脂肪酸组成空间差异的主要脂肪酸种类。

2 结果与分析

2.1 茎柔鱼肌肉脂肪含量和脂肪酸组成

本研究中, 各海区茎柔鱼的胴长($P=0.11$)和脂肪含量($P=0.06$)无显著差异(表 1)。对脂肪酸测定结果分析发现, 3 个海区茎柔鱼肌肉中所含脂肪酸种类不同, 分别检测出 24~28 种脂肪酸(表 2)。捕获自秘鲁外海(PER)的样品所含的种类最多(28 种), 包括 10 种饱和脂肪酸(SAT)、8 种单不饱和脂肪酸(MUFA)和 10 种多不饱和脂肪酸(PUFA)。而中东太平洋赤道海域(CEP)的个体未检出 C20:3n6 (PUFA)。智利外海(CHI)样品中的脂肪酸种类最少(24 种), C14:0、C15:0、C14:1n5 和 C20:3n3 均未检出。

PUFA 是茎柔鱼肌肉脂肪酸含量最高的一类。CHI 样品的 PUFA 总含量最高(69.3%), PER 样品的最低, 但也高达 59.7%, 且与 CEP 样品(61.2%)无显著差异(图 2)。C22:6n3(DHA)是 PUFA 的主要存在形式(>61.2%), 其含量以 CHI 样品最高, CEP 和 PER 样品次之, 但二者差异不显著。茎柔鱼肌肉 SAT 含量为 20.7%~27.3%, CHI 个体的 SAT 含量显著低于其

他 2 个海区(图 2)。在 3 个海区检测出的 SAT 中, 只有 C16:0 和 C18:0 含量较高, 其他种类的百分含量均较低(表 2)。C16:0 是含量最高的 SAT, 占 55.03%~63.11%。茎柔鱼肌肉中 MUFA 的含量低于 SAT 和 PUFA, 仅 10.01%~13.04%。CEP 和 PER 个体的 MUFA 高于 CHI, 而二者差异不显著(图 2)。在全部海区含量均高于 1%的脂肪酸有 10 种, 即 C16:0、C18:0、C16:1n7、C17:1n7、C18:1n9、C20:1n9、C18:2n6、C20:4n6、C20:5n3(EPA)和 DHA(表 2)。其中, 含量排在前 6 位的是 C16:0、C18:0、C20:1n9、C18:2n6、EPA 和 DHA, 这 6 种脂肪酸的总含量在 3 个海区均高达 81.1%以上。

2.2 茎柔鱼肌肉脂肪酸组成的空间差异

以 3 个海区茎柔鱼样品为样本单元, 仅选择在全部海区含量均高于 1%的脂肪酸为参数进行主成分分析。有 3 个主成分初始特征值>1, 方差贡献率依次为 34.69%、25.11%和 14.46%, 累计 74.26%, 表明本结果可以反映茎柔鱼肌肉脂肪酸含量的信息。

由主成分散点图可以看出(图 3), 3 个海区基本散布在不同的区域, 说明茎柔鱼脂肪酸组成在海区间存在差异。主成分 1 和 2 能较好地地区分秘鲁和智利外海样品, 但在增加主成分 3 后仍较难区分 CEP 和其他 2 个海区。结合成分矩阵结果(表 3), 对主成分 1 和 2 贡献较大的特征向量为 C18:0、C16:1n7、C17:1n7、C18:1n9、C20:1n9、C18:2n6、C20:4n6 和 C22:6n3, 说明这些脂肪酸可以体现秘鲁和智利外海样品的空间差异。

ANOSIM 显示, 各海区间茎柔鱼脂肪酸组成均存在显著差异($P<0.05$)。由于 R 值可指示各组海区间差异的大小, PER 与 CHI 的差异($R=0.87$)明显大于其他 2 组海区的差异(CEP 与 PER: $R=0.18$; CEP 与 CHI:

表2 茎柔鱼肌肉脂肪酸组成(平均值±标准误差)
Tab.2 Fatty acid profiles of *D. gigas* muscle tissues (Mean±SE)(%)

脂肪酸 Fatty acid		中东太平洋赤道海域 Equatorial central eastern Pacific (CEP)	秘鲁外海 Off Peru (PER)	智利外海 Off Chile (CHI)
饱和脂肪酸 Saturated fatty acid	肉豆蔻酸 C14:0	0.66±0.03	0.03±0.02	nd
	十五碳酸 C15:0	1.75±0.11	0.71±0.02	nd
	棕榈酸* C16:0	14.27±0.92	15.66±0.31	13.07±0.41
	十七碳酸 C17:0	1.56±0.08	1.46±0.05	0.77±0.03
	硬脂酸* C18:0	4.70±0.11	5.55±0.16	3.51±0.19
	花生酸 C20:0	1.24±0.09	0.35±0.02	1.01±0.04
	二十一碳酸 C21:0	0.67±0.05	0.24±0.01	0.87±0.03
	二十二碳酸 C22:0	0.10±0.01	1.54±0.09	0.17±0.01
	二十三碳酸 C23:0	0.75±0.06	0.74±0.08	0.56±0.11
	二十四碳酸 C24:0	0.22±0.02	1.00±0.10	0.74±0.06
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acid	肉豆蔻油酸 C14:1n5	1.13±0.11	0.32±0.04	nd
	十五碳一烯酸 C15:1n5	1.12±0.08	0.21±0.02	0.42±0.06
	十六碳一烯酸* C16:1n7	1.11±0.08	1.45±0.08	1.24±0.04
	十七碳一烯酸* C17:1n7	1.45±0.15	1.38±0.19	1.01±0.04
	油酸* C18:1n9	3.01±0.18	3.22±0.22	2.42±0.06
	二十碳一烯酸* C20:1n9	3.46±0.11	3.82±0.13	3.28±0.07
	芥酸 C22:1n9	1.47±0.10	0.92±0.05	0.88±0.03
	二十四碳一烯酸 C24:1n9	0.16±0.01	1.71±0.10	0.75±0.03
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acid	亚油酸* C18:2n6	3.41±0.24	3.85±0.23	4.57±0.16
	十八碳三烯酸 C18:3n3	0.42±0.03	1.04±0.06	1.23±0.10
	γ-亚麻酸 C18:3n6	0.77±0.06	0.81±0.11	0.95±0.11
	二十碳二烯酸 C20:2	0.95±0.06	1.03±0.05	1.30±0.04
	二十碳三烯酸 C20:3n3	1.76±0.12	1.31±0.06	nd
	二十碳三烯酸 C20:3n6	nd	1.22±0.07	0.22±0.03
	花生四烯酸* C20:4n6	6.03±0.18	2.45±0.11	6.99±0.22
	二十碳五烯酸 EPA* C20:5n3	8.81±0.21	7.85±0.14	8.10±0.19
	二十二碳二烯酸 C22:2n6	1.58±0.25	0.45±0.24	0.18±0.12
二十二碳六烯酸 DHA* C22:6n3	37.43±1.99	39.67±0.92	45.74±0.64	

注: nd: 未检出; *: 3个海区该种脂肪酸的百分含量均大于1%

Note: nd: Not detected; *: The amount of the fatty acid was more than 1% in all three areas

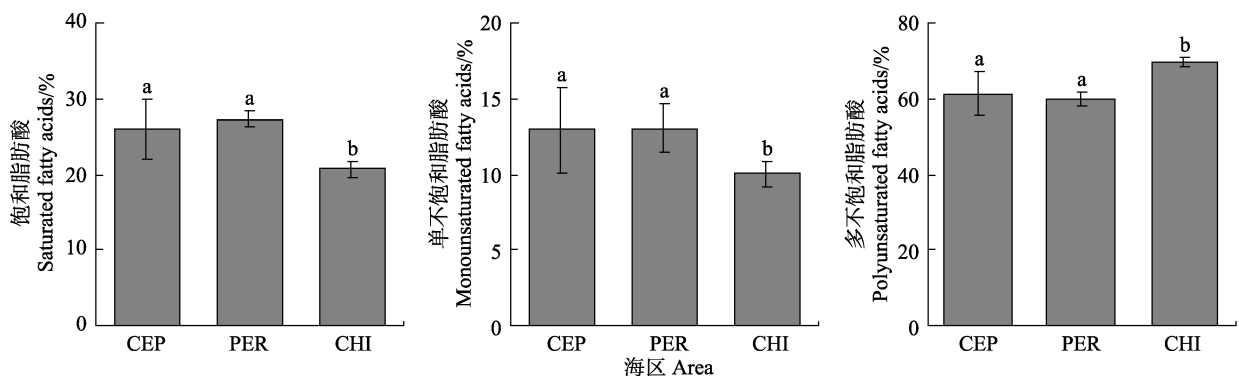


图2 不同海区茎柔鱼肌肉饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸比较(平均值±标准误差)

Fig.2 Comparison of the saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acid profiles of *D. gigas* muscle tissue in three areas (Mean±SE)

CEP: 中东太平洋赤道海域; PER: 秘鲁外海; CHI: 智利外海。不同字母表示数值存在显著差异($P < 0.05$)

CEP: Equatorial central eastern Pacific; PER: Off Peru; CHI: Off Chile. Values with different letters were statistically different ($P < 0.05$)

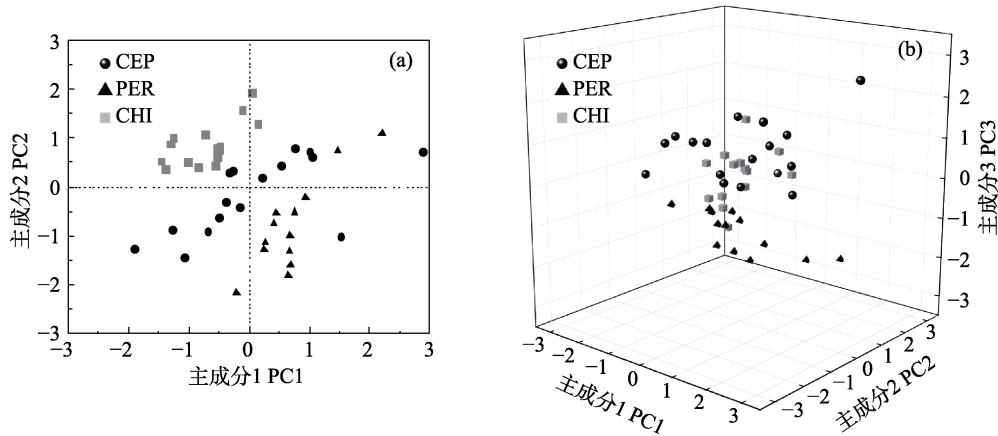


图 3 不同海区茎柔鱼肌肉脂肪酸组成主成分分析

Fig.3 Principal component analysis of the fatty acid compositions of *D. gigas* from three areas

CEP: 中东太平洋赤道海域; PER: 秘鲁外海; CHI: 智利外海
 CEP: Equatorial central eastern Pacific; PER: Off Peru; CHI: Off Chile

表 3 主成分矩阵组成

Tab.3 Component matrix of principal components

变量 Variable	主成分 Principal component		
	1	2	3
C16:0	0.13	-0.57	-0.24
C18:0	<u>0.61</u>	<u>-0.64</u>	0.08
C16:1n7	<u>0.79</u>	0.41	-0.34
C17:1n7	<u>0.72</u>	0.19	0.15
C18:1n9	<u>0.87</u>	0.10	-0.06
C20:1n9	0.30	<u>-0.67</u>	0.17
C18:2n6	0.44	<u>0.79</u>	-0.14
C20:4n6	-0.31	<u>0.69</u>	0.51
C20:5n3	0.14	-0.10	<u>0.93</u>
C22:6n3	<u>-0.88</u>	0.00	-0.27

注: 权重>0.6 或 <-0.6 以下划线表示
 Note: Variable weight >0.6 or <-0.6 were underlined

R=0.33)。根据 SIMPER 分析结果, 图 4 列出了茎柔鱼肌肉主要脂肪酸种类对空间非相似性的贡献率。对 CEP 和 PER 差异贡献较大的是 C22:6n3、C16:0 和 C18:2n6, 总贡献率为 70.45%。而 CEP 与 CHI 和 PER 与 CHI 的差异主要是来自 C22:6n3、C20:4n6 和 C16:0, 总贡献率分别为 71.20%和 68.18%。

3 讨论

本研究对东太平洋 3 个海区茎柔鱼肌肉脂肪酸组成分析发现, 不同海区茎柔鱼所含的脂肪酸种类存在差异(表 2)。捕获自 PER 的样品共检测到 28 种, 而 CHI 的个体只有 24 种。尽管如此, 各海区茎柔鱼脂肪酸均以 PUFA 为主, 含量占比达到 59.68%~

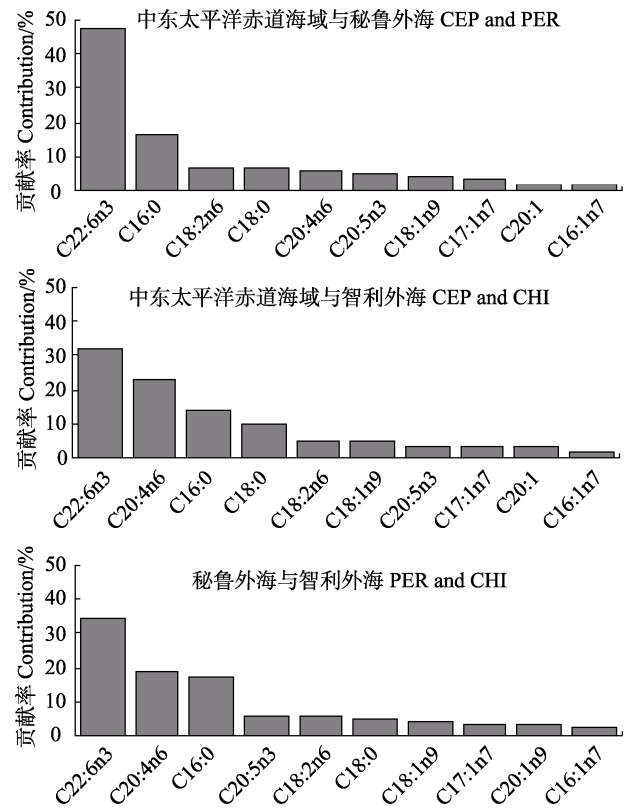


图 4 茎柔鱼肌肉各脂肪酸种类对脂肪酸组成空间差异的贡献率

Fig.4 Contribution of fatty acids in *D. gigas* muscle tissue that caused the spatial differences in SIMPER analysis

69.28%, 其次是 SFA(20.71%~27.28%) 和 MUFA (10.01%~13.04%)。该结果与杨究时等(2013)和 Saito 等(2014)对秘鲁沿岸和外海茎柔鱼胴体肌肉脂肪酸组成的研究结果相似。类似的不同饱和度脂肪酸的相对含量也出现在其他头足类中。Stowasser 等(2006)对大

西洋短鳍鱿鱼(*Lolliguncula brevis*)肌肉和消化腺脂肪酸组成研究发现,含量由高到低分别为 PUFA、SFA 和 MUFA。南极褶柔鱼(*Todarodes filippovae*)肌肉脂肪酸组成也存在这种关系,但其消化腺的脂肪酸主要以 MUFA 为主(Pethybridge *et al.*, 2013)。与近海种类大西洋短鳍鱿鱼相比,大洋性头足类运动能力强、生长速率快,新陈代谢速率和转化率的差别可能造成了消化腺脂肪酸组成的差异(陈新军等, 2012a; Every *et al.*, 2016)。茎柔鱼消化腺是否具有该特点还有待进一步研究。此外,各海区茎柔鱼肌肉较高的 PUFA 含量显示出其极高的营养价值,特别是含量排在前 6 位的 EPA 和 DHA,被证实具有防治心血管疾病、改善神经和视觉系统等功效(Simopoulos, 2006; 李忠清等, 2016; 柳学周等, 2017)。

根据 SIMPER 分析结果,对脂肪酸组成的空间异质性贡献较高的脂肪酸包括 C16:0、C18:2n6、C20:4n6 和 C22:6n3,这些脂肪酸可能直接反映了各海区食物来源的差异。虽然对茎柔鱼必需脂肪酸种类的研究还未见报道,但在大西洋短鳍鱿鱼室内投喂实验中,Stowasser 等(2006)发现,其肌肉中 C18:2n6 和 C22:6n3 含量与饵料中对应脂肪酸含量的关系最为密切。这 2 种脂肪酸可能是茎柔鱼的必需脂肪酸,并能体现出食物来源的空间差异(Sargent *et al.*, 1995),与茎柔鱼的食性分析结果一致。Alegre 等(2014)对秘鲁海域(PER)茎柔鱼胃含物研究后发现,其主要摄食其他头足类和灯笼鱼(*Vinciguerria lucetia*)。而智利外海(CHI)采集的茎柔鱼胃含物中鱼类的比重超过 80%,头足类极少(Pardo-Gandarillas *et al.*, 2014)。虽然有关中东太平洋赤道海域(CEP)茎柔鱼食物组成的研究还未见报道,但 CEP 样品的特异性脂肪酸组成反映出其与其他 2 个海区食物来源的潜在差异。本研究表明,不同海区茎柔鱼食物来源的复杂性以及脂肪酸分析方法在其食性研究中的潜在价值。

脂肪酸组成的空间异质性也可能与各海区环境条件有关。本研究中,秘鲁和智利外海主要受秘鲁寒流和上升补偿流影响,海域的水温较低。由于智利所处纬度较高,其外海水温相对更低(图 1)。而 CEP 同时受南赤道流和赤道逆流影响,且光照强度高,具有较高的水温(Anderson *et al.*, 2001)。研究发现,在水温降低时,海洋生物会通过提高 PUFA 含量以保持细胞膜活性(Ruyter *et al.*, 2003; Tocher *et al.*, 2004)。水温的这种影响也出现在茎柔鱼中,栖息在最低水温环境的 CHI 个体具有最高含量的 PUFA,特别是 C18:2n6、C20:4n6 和 C22:6n3。此外,在秘鲁和智利外海,上升补偿流会将海底大量的营养盐输送到海洋真光层,

而 CEP 靠近大洋中部,营养盐相对贫瘠。各海区水温、光照强度和营养盐的差异很可能造成了浮游植物种类和丰度的空间差异(杨东方等, 2007)。而某些浮游植物含有特异性脂肪酸种类,并可通过摄食活动反映到高营养级动物脂肪酸组成中(Iverson *et al.*, 2004)。例如,对茎柔鱼脂肪酸组成空间差异贡献较高的 C18:2n6 和 C20:4n6 是大型藻类、红藻或褐藻的特征脂肪酸标志物(Napolitano *et al.*, 1997; Kharlamenko *et al.*, 2001; 李宪瑾等, 2002),而 C22:6n3 可以指示鞭毛藻类(Pond *et al.*, 1998; Parrish *et al.*, 2000)。

另一方面,脂肪是生物体重要的能量储存单元,其中的 SFA 是茎柔鱼重要的储能和供能脂肪酸(Turchini *et al.*, 2003)。茎柔鱼肌肉中含量最高的 SFA 是 C16:0,其空间异质性在一定程度上反映出各海区茎柔鱼对生长和繁殖的能量需求的潜在差异。在茎柔鱼生物学研究中已得到验证,栖息于不同海域的茎柔鱼个体生长速率和初次性成熟胴长均存在显著差异(Chen *et al.*, 2011; 陈新军等, 2012b; Liu *et al.*, 2013)。

4 结论

本研究通过测定捕获自东太平洋 3 个作业海区的茎柔鱼肌肉脂肪酸,分析了各海区茎柔鱼肌肉脂肪酸组成的特点和差异。结果显示,茎柔鱼肌肉脂肪酸组成存在空间差异,但均以多不饱和脂肪酸为主,该差异主要体现在各海区 C16:0、C18:2n6、C20:4n6 和 C22:6n3 的含量不同。脂肪酸组成的空间异质性可能是由各海区海洋环境、食物来源和个体能量需求差异造成的。本研究结果说明了脂肪酸标志物在追溯茎柔鱼来源、分析群体结构等方面的潜力。但本研究只选取了中型个体样品,今后需要进一步探讨分析这些特征脂肪酸对茎柔鱼来源海区的判别情况。

参 考 文 献

- Alegre A, Ménard F, Tafur R, *et al.* Comprehensive model of jumbo squid *Dosidicus gigas* trophic ecology in the Northern Humboldt Current System. *PLoS One*, 2014, 9(1): e85919
- Anderson CI, Rodhouse PG. Life cycles, oceanography and variability: Ommastrephid squid in variable oceanographic environments. *Fisheries Research*, 2001, 54(1): 133-143
- Arias-Moscoco JL, Soto-Valdez H, Plascencia-Jatomea M, *et al.* Composites of chitosan with acid soluble collagen from jumbo squid (*Dosidicus gigas*) by-products. *Polymer International*, 2011, 60(6): 924-931
- Chen XJ, Li JH, Liu BL, *et al.* Comparison of fishery biology for *Dosidicus gigas* from three different areas in the eastern Pacific Ocean. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012a, 21(2): 280-287 [陈新军, 李建华, 刘必林, 等. 东太平洋

- 不同海区茎柔鱼渔业生物学的初步研究. 上海海洋大学学报, 2012a, 21(2): 280–287]
- Chen XJ, Li JH, Yi Q, *et al.* Preliminary study on fisheries biology of *Dosidicus gigas* in the waters near the equator of eastern Pacific Ocean. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012b, 43(6): 1233–1238 [陈新军, 李建华, 易倩, 等. 东太平洋赤道附近海域茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)渔业生物学的初步研究. 海洋与湖沼, 2012b, 43(6): 1233–1238]
- Chen XJ, Lu HJ, Liu BL, *et al.* Age, growth and population structure of jumbo flying squid, *Dosidicus gigas*, based on statolith microstructure off the Exclusive Economic Zone of Chilean waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2011, 91(1): 229–235
- Every SL, Pethybridge HR, Crook DA, *et al.* Comparison of fin and muscle tissues for analysis of signature fatty acids in tropical curyhaline sharks. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2016, 479: 46–53
- FAO. Fishery and aquaculture statistics. FAO yearbook 2014, Rome: FAO, 2016
- Iverson SJ, Field C, Don Bowen W, *et al.* Quantitative fatty acid signature analysis: A new method of estimating predator diets. *Ecological Monographs*, 2004, 74(2): 211–235
- Kharlamenko VI, Kiyashko SI, Imbs AB, *et al.* Identification of food sources of invertebrates from the seagrass *Zostera marina* community using carbon and sulfur stable isotope ratio and fatty acid analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 220: 103–117
- Li XC, Fan X, Han LJ, *et al.* Fatty acids of common marine macrophytes from the Yellow and Bohai seas. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(2): 215–224 [李宪瑾, 范晓, 韩丽君, 等. 中国黄、渤海常见大型海藻的脂肪酸组成. 海洋与湖沼, 2002, 33(2): 215–224]
- Li ZQ, Xia B, Wang JY, *et al.* Comparative study on nutrient composition of body walls of green and white sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*). *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(3): 101–107 [李忠清, 夏斌, 王际英, 等. 青、白刺参(*Apostichopus japonicus*)体壁营养成分的比较分析. 渔业科学进展, 2016, 37(3): 101–107]
- Liu BL, Chen XJ, Chen Y, *et al.* Age, maturation, and population structure of the Humboldt squid *Dosidicus gigas* off the Peruvian Exclusive Economic Zones. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2013, 31(1): 81–91
- Liu XZ, Xu YJ, Li R, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional composition of the muscle of yellowtail kingfish (*Seriola aureovittata*). *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(1): 128–135 [柳学周, 徐永江, 李荣, 等. 黄条鲷 (*Seriola aureovittata*)肌肉营养组成分析与评价. 渔业科学进展, 2017, 38(1): 128–135]
- Markaida U. Population structure and reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* from the Gulf of California after the 1997–1998 El Niño event. *Fisheries Research*, 2006, 79(1–2): 28–37
- Medellín-Ortiz A, Cadena-Cárdenas L, Santana-Morales O. Environmental effects on the jumbo squid fishery along Baja California's west coast. *Fisheries Science*, 2016, 82(6): 851–861
- Napolitano GE, Pollero RJ, Gayoso AM, *et al.* Fatty acids as trophic markers of phytoplankton blooms in the Bahía Blanca estuary (Buenos Aires, Argentina) and in Trinity Bay (Newfoundland, Canada). *Biochemical Systematics and Ecology*, 1997, 25(8): 739–755
- Pardo-Gandarillas MC, Lohrmann KB, George-Nascimento, *et al.* Diet and parasites of the jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Humboldt Current System. *Molluscan Research*, 2014, 34(1): 10–19
- Parrish CC, Abrajano TA, Budge SM, *et al.* Lipid and phenolic biomarkers in marine ecosystems: Analysis and applications. In: Wangersky PJ (eds). *Marine chemistry. The handbook of environmental chemistry (Vol. 5 Series: Water pollution)*, vol 5D. Springer, Berlin: Heidelberg, 2000
- Pethybridge HR, Nichols PD, Virtue P, *et al.* The foraging ecology of an oceanic squid, *Todarodes filippovae*: The use of signature lipid profiling to monitor ecosystem change. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2013, 95(15): 119–128
- Phillips KL, Jackson GD, Nichols PD. Predation on myctophids by the squid *Moroteuthis ingens* around Macquarie and Heard Islands: Stomach contents and fatty acid analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 215(1): 179–189
- Phillips KL, Nichols PD, Jackson GD. Lipid and fatty acid composition of the mantle and digestive gland of four Southern Ocean squid species: Implications for food-web studies. *Antarctic Science*, 2002, 14(3): 212–220
- Pond DW, Bell MV, Harris RP, *et al.* Microplanktonic polyunsaturated fatty acid markers: A mesocosm trial. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1998, 46(2): 61–67
- Ruyter B, Røjøl C, Grisdale-Helland B, *et al.* Influence of temperature and high dietary linoleic acid content on esterification, elongation, and desaturation of PUFA in Atlantic salmon hepatocytes. *Lipids*, 2003, 38(8): 833–840
- Saito H, Sakai M, Wakabayashi T. Characteristics of the lipid and fatty acid compositions of the Humboldt squid, *Dosidicus gigas*: The trophic relationship between the squid and its prey. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2014, 116(3): 360–366
- Sargent JR, Bell JG, Bell MV, *et al.* Requirement criteria for essential fatty acids. *Journal of Applied Ichthyology*, 1995, 11(3–4): 183–198
- Simopoulos AP. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: Nutritional implications for chronic diseases. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2006, 60(9): 502–507
- Stowasser G, Pierce GJ, Moffat CF, *et al.* Experimental study on the effect of diet on fatty acid and stable isotope profiles of the squid *Lolliguncula brevis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 333(1): 97–114
- Tocher DR, Fonseca-Madrigras J, Dick JR, *et al.* Effects of water temperature and diets containing palm oil on fatty acid desaturation and oxidation in hepatocytes and intestinal enterocytes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2004, 137(1): 49–63
- Turchini GM, Mentasti T, Frøyland L, *et al.* Effects of alternative dietary lipid sources on performance, tissue chemical

- composition, mitochondrial fatty acid oxidation capabilities and sensory characteristics in brown trout (*Salmo trutta* L.). *Aquaculture*, 2003, 225(1): 251–267
- Uriarte-Montoya MH, Arias-MoscOSO JL, Plascencia-Jatomea M, *et al.* Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle collagen: Extraction, characterization, and potential application in the preparation of chitosan-collagen biofilms. *Bioresource Technology*, 2010, 101(11): 4212–4219
- Wang LL, Yiang XS, Li XY, *et al.* The effect of moisture content on the texture and color of light baked squid tentacles. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(2): 47–50 [王丽丽, 杨宪时, 李学英, 等. 水分含量对软烤鱿鱼足片质构和色泽的影响. *食品与发酵工业*, 2014, 40(2): 47–50]
- Xu Q, Yang HS. Fatty acid biomarker and its application in marine trophic relation studies. *Acta Oceanologica Sinica*, 2011, 33(1): 1–6 [许强, 杨红生. 脂肪酸标志物在海洋生态系统营养关系研究中的应用. *海洋学报*, 2011, 33(1): 1–6]
- Yang DF, Chen ST, Hu J, *et al.* Magnitude order of the effect of light, water temperature and nutrients on phytoplankton growth. *Marine Environmental Science*, 2007, 26(3): 201–207 [杨东方, 陈生涛, 胡均, 等. 光照、水温 and 营养盐对浮游植物生长重要影响大小的顺序. *海洋环境科学*, 2007, 26(3): 201–207]
- Yang XS, Wang LL, Li XY, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional compositions of *Dosidicus gigas* and *Onychoteuthis borealijaponicus okad.* *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(9): 2247–2251, 2293 [杨宪时, 王丽丽, 李学英, 等. 秘鲁鱿鱼和日本海鱿鱼营养成分分析. *现代食品科技*, 2013, 29(9): 2247–2251, 2293]

(编辑 马瑾艳)

A Comparative Analysis of Fatty Acid Profiles in Muscle of *Dosidicus gigas* from Different Harvest Locations in the Eastern Pacific Ocean

GONG Yi¹, LI Yunkai^{1,2,3,4,5①}, CHEN Ling⁶, GAO Xiaodi¹, CHEN Xinjun^{1,3,4,5}

- (1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071; 3. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306; 4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306; 5. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306; 6. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract The jumbo squid (*Dosidicus gigas*) is a pelagic cephalopod endemic to the eastern Pacific Ocean with a valuable commercial role. In this study, fatty acid profiles were identified in jumbo squid muscle tissues from three harvest locations. Comparative analysis was used to evaluate spatial variation in fatty acid profiles of different geographic origins. Results showed significant differences in fatty acid profiles among squid muscle tissues from different sampling locations. The number of fatty acid types from the squid off Peru (28) was high compared with that from squid in the waters of the equatorial central eastern Pacific (27) and those off Chile (24). Nonetheless, among all three geographic origins, the dominant fatty acids were polyunsaturated fatty acids (PUFA), which accounted for 59.68%~69.28% of the total amount of all fatty acids, followed by saturated fatty acids (SFA, 20.71%~27.28%) and monounsaturated fatty acids (MUFA, 10.01%~13.04%). C16:0, C18:0, C20:1n9, C18:2n6, C20:5n3 (eicosapentaenoic acid, EPA), and C22:6n3 (docosahexaenoic acid, DHA) were the primary fatty acids in jumbo squid muscle tissues, which accounted for more than 81% among all areas. The results of analysis of similarity (ANOSIM) and similarities of variance (SIMPER) showed that the spatial heterogeneity of fatty acid profiles was mainly influenced by C16:0, C18:2n6, C20:4n6, and DHA. We propose that the observed variations could be the result of differences in oceanographic conditions, food sources, and energy demands of squid among varied regions. Overall, these results demonstrated the feasibility of using fatty acid analysis to study the feeding ecology of jumbo squid. Novel information on the heterogeneity of fatty acid profiles among harvest locations may have important implications for their nutrition studies and for better utilizing this important resource.

Key words *Dosidicus gigas*; Muscle; Fatty acid; Comparative analysis

① Corresponding author: LI Yunkai, E-mail: ykli@shou.edu.cn